

# IFERC事業の紹介

## Introduction of International Fusion Energy Research Centre (IFERC) Project

大学共同利用機関法人自然科学研究機構 核融合科学研究所 IFERC事業長  
 中島 徳嘉  
 (独)日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門  
 林 君夫、坂本 宜照

ITER計画に貢献し、核融合原型炉の早期実現を目指す国際核融合エネルギー研究センター事業は、青森県六ヶ所村のサイトを拠点として核融合原型炉の設計及び研究開発の調整、核融合シミュレーション及びITER遠隔実験の3サブプロジェクトを推進している。これらの核融合エネルギーの実現に向けた活動の現状、体制、及び展望といった内容について説明する。

### 1. はじめに

幅広いアプローチ (Broader Approach) 活動 (以下、BA活動) の事業の一つである国際核融合エネルギー研究センター事業 (International Fusion Energy Research Centre Project) [1, 2] (以下、IFERC事業) は、原型炉設計・研究開発調整センター (DEMO Design and Research and Development Coordination Centre)、核融合計算シミュレーションセンター (Computational simulation Centre) (以下、CSC)、及びITER遠隔実験センター (ITER Remote Experimentation Centre) (以下、REC) が推進する3サブプロジェクトから構成されており、核融合原型炉に必要な研究開発の中心的拠点としての役割を果たすことを目指して、青森県六ヶ所村に新たに設けたサイトで推進される事業である。2010年12月15日にマドリードで開催された第8回運営会議 (以下、8<sup>th</sup>-SC) において承認されたIFERC事業の推進体制と計画の概要を図1及び図2に示す。IFERC事業の推進体制は図1に示す様に、事業長 (Project Leader: PL) とそ

れをサポートする調整チーム (Coordination support team)、及び、各サブプロジェクトからの参加メンバーで構成されるIFERC事業チーム (以下、PT) と各サブプロジェクトの推進母体であるJA及びEU両実施機関 (Implementing Agency) (以下、IA) の構成員からなるホームチームから構成される。日本側実施機関 (JA-IA) は日本原子力研究開発機構 (JAEA) であり、欧州側実施機関 (EU-IA) はFusion for Energy (F4E) である。また、10年間に渡る計画の概要を図2に示す。BA活動は、2007年7月から始まっており、終了は2017年6月となる。IFERC事業は、同じくBA活動の一環であり那珂研で実施されるサテライトトカマク装置事業 (Satellite Tokamak Project: STP) や六ヶ所のサイトで実施される国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動 (International Fusion Materials Irradiation Facility /Engineering Validation Engineering Design Activities: IFMIF/EVEDA) 事業同様、会計年度 (4月から翌年3月) ではなく暦年 (1月から12月) に基づいて活動計画が策定される。

原型炉設計・研究開発調整センター（以下、「原型炉設計・R&D調整センター」という）の活動は、2030年代中葉からの核融合発電の実証に向けての道を開くことを目的として、核融合炉概念検討、ならびに材料開発及び工学R&Dの一部を開始するものである。そのため、核融合炉の概念を評価し、合理的な概念設計の確立を目指すとともに、原型炉の実現に向けて必要な物理的・工学的R&D課題を抽出し、予備的なR&Dを実施して、原型炉設計に反映する。図2に示す通り、2007年7月のBA開始時期から2010年12月までの3.5年を第1期として、ワークショップ等を中心に活動を進めてきた。8<sup>th</sup>-SCにおいて承認された原型炉設計実施要項 (Terms of Reference for DEMO Design) に基づき、2011年1月以降を本格的な活動を行う第2期と位置付け、原型炉設計活動 (DDA: DEMO Design Activity) 計画を立案している。原型炉設計及び原型炉R&Dの詳細は、それぞれ、以下の2節及び3節において述べる。

核融合計算シミュレーションセンター

(CSC)の活動は、スーパーコンピュータを用いて、既存実験装置やSA、ITER燃焼プラズマの挙動解析・挙動予測、及び材料の照射効果等の解析を行い、その成果をSA、ITERの運転シナリオの最適化や原型炉の設計等に反映させるための計算機資源の提供とともに、シミュレーションによる新たな知見の創出ができるような環境整備を図る計画である。2008年に日欧の専門家により発足した特別作業グループ-1(SWG-1)による資料招請内容の作成、ベンチマークコードの評価・選定、要求される性能評価等と、それに基づいたEU-IA主導による市場調査 (JA-IAも参加)、技術検討、調達取り決め (Procurement Arrangement: PA) の準備等の精力的な活動の結果、2010年4月に、スーパーコンピュータ、周辺機器、及び関連サービスに関するPAを締結した。また、8<sup>th</sup>-SCにおいて、2011年1月に、スーパーコンピュータの利用規程等について検討する特別作業グループ-2 (SWG-2)の活動開始が認められ、2012年1月の運用開始を目指して、作業が急ピッチで進

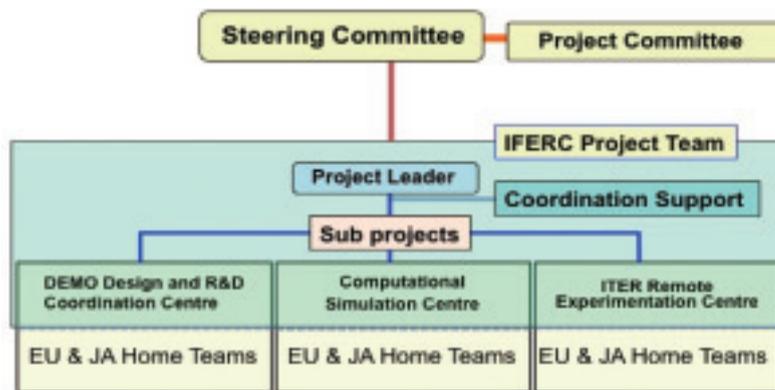


図1 IFERC事業推進体制

|                     | 2007 |    | 2008                    |              | 2009       |    | 2010             |    | 2011             |    | 2012        |    | 2013 |    | 2014      |    | 2015 |    | 2016      |    | 2017 |    |
|---------------------|------|----|-------------------------|--------------|------------|----|------------------|----|------------------|----|-------------|----|------|----|-----------|----|------|----|-----------|----|------|----|
|                     | F1   | F2 | F1                      | F2           | F1         | F2 | F1               | F2 | F1               | F2 | F1          | F2 | F1   | F2 | F1        | F2 | F1   | F2 | F1        | F2 | F1   | F2 |
| DEMO Design and R&D |      |    | Workshops/Meetings      |              |            |    | Joint Work Phase |    |                  |    |             |    |      |    |           |    |      |    |           |    |      |    |
| CSC                 |      |    | Preparation/Procurement |              |            |    |                  |    | Operation of CSC |    |             |    |      |    |           |    |      |    | Disabling |    |      |    |
| REC                 |      |    |                         |              |            |    |                  |    |                  |    | Preparation |    |      |    | Operation |    |      |    |           |    |      |    |
| Buildings           |      |    | Design                  | Construction | Adaptation |    |                  |    | Maintenance      |    |             |    |      |    |           |    |      |    |           |    |      |    |

図2 IFERC事業計画の概要

められている。詳細は、4節において述べる。

ITER遠隔実験センター (REC) は、ITERと高速ネットワークで接続し、日本においてITERの運転条件の設定、データ収集、解析等が行える事を目的とする施設である。ITERサイトである南仏との時差を利用して、効率的にITERで実験を行うことが可能となることから、スーパーコンピュータの利用と相まって、より多くの若手研究者の参加を促進することを目指す。RECは、ITERの建設状況に対応して具体化を図る必要があることから、図2に示す通り、当面は情報交換会合等を行いつつ、現状の計画では2012年7月からワークショップ・関係諸会合を開催し、本格的準備として設備・機器の整備を進め、2015年7月から2年をかけて実施・運用を行う計画である。また、高速ネットワークに関しては、日本国内の高速ネットワーク計画と調整をはかりつつ、六ヶ所サイトへGbpsクラスのネットワークを2011年10月より構築する予定である。詳細は、5節において述べる。また、簡単なまとめを6節において述べる。以上の活動を円滑に開始するため、IFERC活動に関係する建家、すなわち、管理研究棟、原型炉R&D棟及び計算機・遠隔実験センター棟の設計・建設が、2007-2010年度の期間において行われ、2010年3月に、管理研究棟、CSC&REC棟、DEMO R&D棟の3建家を全て完成した。今後、原型炉R&D棟では、トリチウム及び $\beta\gamma$ 放出核種を取り扱うため、2011年中に放射性同位元素 (RI) の許認可手続きを行うとともに、グローブボックス、フード等の設備機器の設置を行い、ホット実験を開始する計画である。一方、計算機・遠隔実験センター棟では、2012年1月のスーパーコンピュータ運用開始に向けて、コンピューター本体及び関連設備等を2011年10-12月に設置する計画である。また、スーパーコンピュータの導入に対応して、2011年10月には、ネットワークを敷設する予定となってい

る。IFERC事業における活動は、サテライトトカマク装置事業 (STP) や国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動 (IFMIF/EVEDA) 事業同様、毎年春と秋に開催される事業委員会 (Project Committee : PC) でIFERC事業長からの提案を審議し、その審議結果に基づいてPCで勧告された内容が、その直後に開催される運営会議 (Steering Committee : SC) において承認されるという過程を通して遂行される。PC/SCにおいては、それ以前に行われたPCやSCで指摘された検討項目も審議されるが、通常、春のPC/SCでは、事業計画 (Project Plan) が審議の対象となると共に、前年の活動に関する年次報告 (Annual Report) が提示され、秋のPC/SCでは、翌年の作業計画 (Work Programme) やEU-JA両極の貢献分担表 (Value Estimates and Allocation of Contributions of Parties) が審議の対象となる。更に、具体的なIFERC事業における準備活動や研究活動は、JAとEUの間で締結される調達取り決め (Procurement Arrangement : PA) や派遣取り決め (Secondment Arrangement : SA) に基づいて行われ、PAやSAは文書管理システム (Document Management System : DMS) を用いて管理・共有される。更に、必要に応じて、共通品質管理システム (Common Quality Management System : CQMS) を作成して、JA及びEU双方の責任担当者、役割、スケジュール等を管理・共有し、円滑な事業の推進に役立てている。

## 2. DEMO Design

原型炉設計・R&D調整センターの活動は、2030年代以降の核融合発電実証への道筋を確かなものにするため、原型炉概念設計活動、及び日欧が共通に関心を有する主要課題における技術的なR&D活動を含む、原型炉の設計に必要な科学的及び技術的活動の調整おい

て重要な役割を果たすことが使命および活動の実施範囲として定義されている。期待される成果には、R&D活動の成果が反映された原型炉の概念設計が含まれる。

### 2.1 DEMO Designの研究目的

原型炉設計活動では、核融合エネルギーの早期実現を目指し、以下に挙げる項目を目的として10年間の活動を行う。

- 原型炉の設計上の特徴を確定すること、
- 実現可能性のある原型炉の共通概念を描き出すこと、
- 原型炉へのロードマップを確立すること、
- 物理及び工学研究開発課題を明らかにすること、
- 共通の関心を有する研究開発課題を確認すること、
- 日欧で実施される原型炉概念設計及び関連する研究開発活動を調整すること。

### 2.2 DEMO Designの研究体制

原型炉の概念は各国のエネルギー政策における核融合発電の位置づけに依存する。例えば、原型炉段階において核融合エネルギーによる最低限の発電実証を行うのか21世紀中葉に想定される動力炉規模の発電実証が必要なのか、あるいは電気出力の定常運転か炉心プラズマの定常運転が必要なのか、等の原型炉に対する要件によって炉の大きさや機器構成

は大きく影響を受けることになる。このような原型炉に対する考え方は日欧においても大きな隔たりがあるため、原型炉設計活動では最初の3年間（第1期活動）を日欧専門家によるワークショップを通して意見交換を行い、後半の7年間（第2期活動）で実施する日欧共同作業にむけた共通作業項目の洗い出しを行ってきた。図3に日欧で合意した原型炉設計活動のスケジュールを示す。第2期活動はさらに次のように3つに分けることでメリハリつけた活動を実施する。

#### Phase Two-A :

日欧共同作業の最初のステップとして、これまでの知識の整理統合、原型炉設計のための信頼できる共通基盤の確立、研究開発課題の優先度等の議論を通して、原型炉設計の設計基準の定義や重要設計課題を分析する。さらに日欧共通の原型炉システム設計コードを共同で新たに構築する。

#### Phase Two-B :

Phase Two-Aで実施した日欧共同作業を原型炉概念設計に落とし込むための具体化を行うとともに、設計基準の調整を行いつつ、原型炉設計を左右する物理設計パラメータおよび炉工学技術の技術的成熟度の評価を実施する。

#### Phase Two-C :

実現可能性のある原型炉概念設計の構築を目指し、活動を集約するとともに、原型炉への

| Phase             | 2007                     |    | 2008 |    | 2009 |    | 2010 |    | 2011  |    | 2012 |    | 2013                               |    | 2014 |    | 2015                     |    | 2016 |    | 2017 |    |
|-------------------|--------------------------|----|------|----|------|----|------|----|---|----|------|----|------------------------------------|----|------|----|--------------------------|----|------|----|------|----|
|                   | H1                       | H2 | H1   | H2 | H1   | H2 | H1   | H2 | H1  | H2 | H1   | H2 | H1                                 | H2 | H1   | H2 | H1                       | H2 | H1   | H2 | H1   | H2 |
|                   | 第1期                      |    |      |    |      |    |      |    | Phase Two-A                                       |    |      |    | Phase Two-B                        |    |      |    | Phase Two-C              |    |      |    |      |    |
| 作業項目<br>(マイルストーン) | ワークショップ/会合:<br>共通項目の洗い出し |    |      |    |      |    |      |    | 設計基準の定義<br>重要設計課題の分<br>析と準備作業<br>システム設計コード<br>の整備 |    |      |    | 設計基準の具体化<br>と調整<br>原型炉パラメータ<br>の評価 |    |      |    | 原型炉概念設計の構築、<br>ロードマップ確立。 |    |      |    |      |    |

図3 日欧で合意された原型炉設計活動のスケジュール

ロードマップを確立する。

以上のような第2期活動を実施するために、図4に示す組織体制を構築することがBA運営委員会で承認された。IFERC事業チームに原型炉設計ユニットを新たに設置し、日欧のホームチームと統合化した原型炉設計統合プロジェクトチーム（IPT）を組織する。原型炉設計ユニットには、欧州から1名の専門家、日本から2名の専門家（内1名は原型炉設計活動リーダー）が六ヶ所に駐在し、原型炉設計活動リーダーの支援とともに日欧ホームチームの活動の調整を実施する。

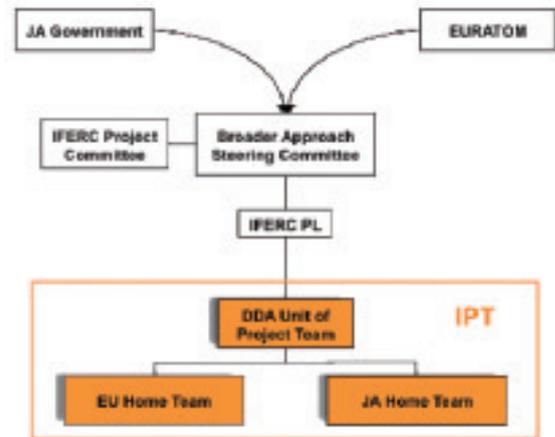


図4 原型炉設計活動の実施のための組織体制

### 2.3 DEMO Designの現状

原型炉の設計要件や設計制約の技術的な内容については、日欧間の問題認識に共通点が多い。その一方で、原型炉に対する考え方の隔たりは大きいのが現状である。そこで第一期活動では共同設計活動で実施する共通項目の洗い出しを行うため、日欧の専門家が集結し、ワークショップを5回開催し、以下の6大項目について討議を行った。

#### (i) 原型炉の役割

核融合開発戦略について、日欧は21世紀中葉での核融合発電炉の実現に向けて、ほぼ同様の研究開発ロードマップを持っている。このことから日欧で共同設計作業を実施する意義は大きい。

#### (ii) 燃焼プラズマ物理の設計課題

高総合炉心プラズマ性能の実現、各性能要素間のトレードオフ課題、運転モード、ディストラクション制御等が優先課題として挙げられる。

#### (iii) プラズマ工学の設計課題

電流駆動、プラズマ平衡制御、熱・粒子ハンドリング（ダイバータ）、燃焼プラズマ制御ロジックの開発が優先課題として挙げられる。

#### (iv) 炉工学技術の設計課題

ブランケット概念、材料開発、超伝導磁石、トリチウムハンドリング等が優先課題として

挙げられる。特にブランケットは、強度を確保しつつ、熱の取り出しおよびトリチウム増殖を行う多機能機器であり、原型炉において重要な研究開発機器の一つである。

#### (v) 原型炉のシステム課題

メンテナンス手法、炉の安全性研究、各種設計に関するトレードオフ課題等が優先課題として取り組む必要がある。特に、メンテナンスは、短期間実施できる確実な手法が稼働率の観点から必要である。

#### (vi) 原型炉設計システムコード

日欧がそれぞれ開発したシステムコードのベンチマークおよび共通物理モデルの開発が優先項目である。

以上の議論をベースにして、第2期活動の日欧共同作業項目を設定し、タスクを日欧で重複をできるだけ避けて分担しつつ実施することを検討している。

### 2.4 DEMO Designの展望

ワークショップをベースにした原型炉設計活動の第1期活動が予定通り終了し、2011年1月から実施する第2期活動計画および活動内容がBA運営委員会で承認され、日欧共同作業が開始される運びとなった。現在、日欧ホームチームにおいて「調達取り決め」の準備が進められている。今後は、日欧の連携を強

くして共同作業を行うとともに、サテライトトカマク事業とも連携協力し原型炉について議論を重ねつつ原型炉概念設計活動を推進してゆく。BA終了時には、日欧による原型炉概念設計案と関連する文書が提出される見通しである。それには原型炉設計に必要なデータベースおよびBA終了後に実施すべき物理および炉工学に関する研究開発項目リストが含まれる予定であり、本活動の成果は原型炉建設に向けてその方針を示すものとなるであろう。

### 3. 原型炉R&D [3-6]

#### 3.1 原型炉 R&Dの研究目的及び研究項目

BAで実施する原型炉工学R&Dは、核融合原型炉の設計のための活動を支えることを意図したものである。日欧専門家は、BA発足に先立ち、2006年7月及び11月に六ヶ所において会合を開催して、BAとして実施するR&D項目について議論し、日欧共同提案を作成した。そこでは、現在の日本側とEU側の原型炉概念をベースにして、双方が重要かつ不可欠と考える基盤的なR&Dを実施することとした。この日欧共同提案の内容は、IFERC事業計画の一部として、第2回BA運営委員会（2007年11月、バルセロナ）で承認された。

原型炉の開発にあたっての最重要な工学課題はブランケットの開発であるとの日欧の共

通認識に基づき、ブランケット構造材料として低放射化フェライト鋼（研究項目番号T3）、液体流路保護材料及び先進的構造材料としてSiC/SiC複合材料（T1）、先進中性子増倍材料（T4）、先進トリチウム増殖材料（T5）の4つの項目をBAにおけるR&D項目として選択した。さらに、原型炉では、パルス運転のITERと異なり、定常または準定常運転となることが想定されるため、燃料供給系・ブランケットからのトリチウム回収系として新たなトリチウム取扱技術が必要との認識から、特に日本から強い希望によりトリチウム工学（T2）をR&D項目として加えた。なお、これらは原型炉開発に必要なR&D項目の一部であることに留意されたい。

#### 3.2 原型炉R&Dの研究体制

DEMO R&Dの研究体制は、図5に示す通りである。日本実施機関（原子力機構：JAEA）と欧州実施機関（Fusion for Energy：F4E）の間で調達取決め（PA）を締結して、研究を実施する。

日本側は六ヶ所サイトに研究施設を整備し、それを核にして共同研究の形で大学等の協力も得て、全日本の体制で進めて行くこととしている。一方、欧州側は、EU加盟の各国の研究機関（CIEMAT、ENEA、CRPP、SCK・CEN、KIT）が、上記の各領域の研究を分担実施している。

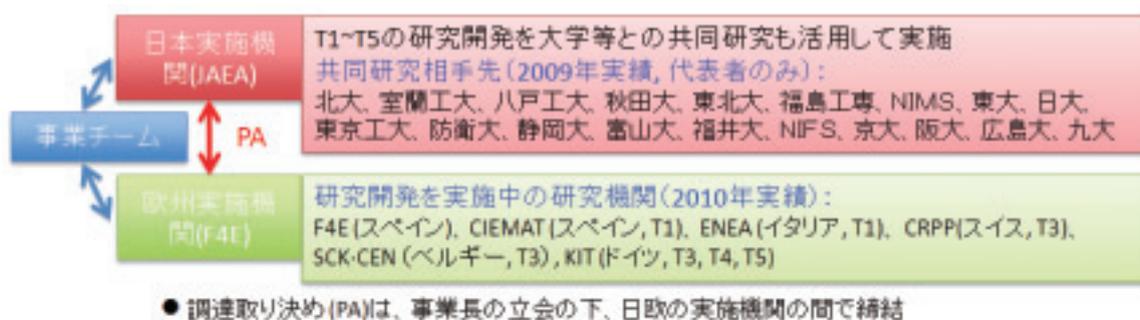


図5 原型炉R&Dの研究体制

### 3.3 原型炉R&Dの現状

BA期間の初期3年間(2007年7月～2009年)は、六ヶ所サイトにおける原型炉R&D棟の整備に加えて、日欧における予備的なR&Dとワークショップを中心に活動を行ってきた。

日本側は、既に2008年2月に最初のPA(緊急タスク)を締結し、予備的な研究を開始した。その後2008年11月には2008～2009年実施の第1フェーズのR&DについてPAを締結し、さらに2010年4月には2010～2011年(第2-1フェーズ)実施のR&DのPAを締結して、順調に施設・設備の整備と研究開発を進めてきた。一方、欧州側は、実質的な研究を2008年に開始した後、BA全期間にわたる一連のPAを2010年12月に締結した。

以下に、主に日本側における研究の現状の概要を述べる。

#### (A) 原型炉ブランケットに向けた材料工学研究開発に関する研究開発 (T3)

BA終了後に原型炉の工学設計に入ることを想定し、材料の基準化に必要なデータを蓄積することに主眼をおき、低放射化フェライト鋼(日本:F82H、欧州:EUROFER)の大量溶解技術及び接合技術の確立、中性子照射の機械的特性への影響評価のモデル化等を目標としている。

#### (B) SiC/SiC複合材料の研究開発 (T1)

BAでは、材料開発も行うが、むしろ機械的特性及び物理的特性(電気特性、熱特性、水素透過特性など)の評価方法の確立に主眼を置き、機械的特性は主に日本、物理的特性は主に欧州が担当して、研究を進めている。

#### (C) 先進中性子増倍材料 (T4) 及びトリチウム増殖材料 (T5) の研究開発

先進中性子増倍材料については、金属ベリリウムより高温で使用可能であり、かつ水等との反応性の小さい材料として、Be<sub>12</sub>Ti、Be<sub>12</sub>V等のベリリウム金属間化合物の開発を

目指している。先進トリチウム増殖材料に関しては、再処理/再利用まで考慮した微小球大量製造法の確立をめざしている。

(D) トリチウム技術に関する研究開発 (T2)  
六ヶ所サイトに多目的放射性同位元素(RI)使用施設を整備することを中心に活動しており、図6に示すトリチウム除去設備等の設置を終え、2011年中にはトリチウムを含むRIの使用を開始する。また、低放射化フェライト鋼やSiC/SiC複合材料等のブランケット材料とトリチウムの相互作用やトリチウム取扱機器に使用される材料の耐トリチウム性等に関する研究を大学との共同研究で開始している。

### 3.4 原型炉R&Dの展望

上述の通り、BA期間の初期3年間(2007年7月～2009年)は、六ヶ所サイトにおける原型炉R&D棟の整備に加えて、日欧における予備的なR&Dとワークショップを中心に活動を行ってきた。2010年以後は、六ヶ所サイトの研究施設整備を進め、本格的な研究開発をめざして、研究活動を強化する計画である。2011年中頃までには原型炉R&D棟のRI使用許可を得る計画であり、また、中性子増倍材料の開発のためのベリリウム取扱施設の稼働開始も計画している。さらに、欧州側の各研究所で開発した材料等を六ヶ所サイトの研究施設に持ち込み、日欧共同実験を行うことを計画している。

一方、今後は、原型炉設計活動の進捗に応じて、原型炉設計活動によって得られた成果に基づき、BA期間中及びBA終了後に実施すべき、関連するR&D活動項目を明らかにし、R&D活動の調整を行う必要がある。併せて、原型炉R&D活動の成果を、原型炉設計活動に反映させる必要がある。



図6 六ヶ所サイトの原型炉R&D棟に設置されたトリチウム取扱設備のためのトリチウム除去系の製作

#### 4. 核融合計算機シミュレーションセンター (CSC)

核融合計算機シミュレーションセンター (CSC) の活動は、IFERC事業のサブプロジェクトの一つであり、CSCに導入されるスーパーコンピュータは、スーパーコンピュータを必要とする核融合科学・技術の様々な研究領域に対して計算資源を提供する。具体的なシミュレーション研究の課題としては以下のものが想定されている：

- 核融合炉のプラズマ炉心シミュレーション
- 第一原理シミュレーション
- プラズマ壁相互作用及びプラズマ対向機器に関する数値的アプローチ (材料研究を含む)
- 構造材料及び機能材料の開発
- 核融合炉の中性子工学計算

これらの研究は、STPにおける先進超伝導トカマクJT-60SAやITER等におけるシミュレーション研究、実験データ解析研究、核融合炉材料研究、及びDEMO設計研究等に利用されると共に、これらのシミュレーション研

究と核融合炉システム研究、実験データ解析研究から得られる成果を統合し、原型炉のための核融合発電プラントに向けた全ての概念の統合 (統合モデル化) を行うことが最終目標である。

上記の核融合研究に適した計算機は、日本側実施機関との協議のもと、欧州側実施機関 (F4E) により調達される。更に、この調達を円滑に進めるため、2008年に日欧各4名のシミュレーション及び計算機専門家により構成される特別作業グループ-1 (SWG-1) が設置された。2010年までに都合9回のSWG-1会合が開催され、市場調査の実施手順評価、調達可能な業者の確認、資料招請内容の作成、ベンチマークコードの評価・選定、スーパーコンピュータの要求性能の評価等が行われ、更に、それぞれの項目に対する答申に基づいてEU-IA主導による市場調査 (JA-IAも参加)、スーパーコンピュータ及びインターフェイス機器の技術検討、仕様書全体の作成、ベンダーとの会合、調達取り決め (PA) の準備等の精力的な活動が行われた。その結

果、2010年4月に、スーパーコンピュータ、周辺機器、及び関連サービスに関する調達取り決め (PA) が締結された。この過程において、SWG-1への日本国内の意見集約は、核融合エネルギーフォーラム、特にモデリング・シミュレーションサブクラスター (年2回開催) の場を通じて主に行われた。

今後の予定としては、2011年3月に導入機に関する契約が完了し、2011年6月から関連機器を含む計算機システムの設置を開始し、2012年1月から2016年12月までの5年間の計算機運用を予定している。SWG-1は、定期的実施機関側からの報告を受けるとともに、実施機関側からの要請に応じて助言を行う予定である。従って、入札過程が終了していない現時点では計算機の詳しいスペック等を紹介できる段階には無いが、調達の目標とする計算機の性能は、Linpackで1 PF程度の性能と考えられている。参考として、SWG-1からの情報を基に、2009年5月29日のモデリング・シミュレーションサブクラスターで議論されたピーク速度1 PF程度のスーパーコンピュータに対する日本側のminimum need (要望に幅がある場合には、下限値) は、

- スーパーコンピュータ：
  - 実効速度：100 TF
  - 利用可能全主記憶：100 TB
  - メモリ/コア：2 GB/core
  - 利用可能メモリ/ノード：32 GB/node
  - メモリーバンド幅 B/F：0.25
  - 隣接ノード間転送 (片方向) B/F：0.05
  - ライブラリ：BLAS、LAPACK、PETSc、FFT、並列乱数
  - 自動SMP並列コンパイラ
  - バッチ使用
- コード開発支援サーバ：
  - (スパコンと同一アーキテクチャー)
  - インタラクティブ使用
- スパコンとの直結ディスク (並列I/O)
  - 容量：5 PB

転送速度：100 GB/s (リスタート10分以内)

- 中期保存媒体 (バックアップ)
    - 容量：100 PB
  - ポスト処理 (グラフィック) サーバ
    - ハード：スパコンとは別システム
    - ソフト：Parallel AVS
  - サポート体制
    - 24時間ハードウェア保守
    - コード最適化支援
    - 自動故障管理 (ハード、ソフト)
  - ネットワーク
    - ジョブ投入、テキスト編集、画像ファイル転送
- 等であった。

CSCスーパーコンピュータの運用は、EUから派遣される副事業長 (sub Project Leader)、JAから派遣される数名のユーザーサポート及びプログラミングサポート要員、JA-IA及びEU-IAから各々1名の技術調整員 (Technical Coordinator) 等から構成されるCSCチーム (仮称) により行われる予定である。このうち、EUからの副事業長 (sub Project Leader)、及びJAから派遣される数名のユーザーサポートやプログラミングサポート要員がIFERCプロジェクトチームに所属する事となる。JAとEUの時差を考慮した運用体制が構築される予定である。

計算機の利用規則等は、2011年1月に組織される特別作業グループ-2 (SWG-2) で半年程度かけて決定される。SWG-2は、日欧それぞれの、シミュレーション研究者コミュニティの代表、CSCの代表者、主要計算機運用管理者の代表、実施機関の代表等から構成され、SWG-2の議長はIFERC事業長が担当する。SWG-2は、利用規程の大枠を設定するとともに、常設委員会 (Standing Committee) の実施要項を策定する。常設委員会は、CSCスーパーコンピュータを利用する課題の選定、CPU時間やストレージ等の計算機資源の配分を決定する等の役割を担う予

定である。また、核融合エネルギーフォーラムのモデリング・シミュレーションサブクラスターも含めて、必要に応じて計算機運用時のユーザーの要望等を集約するための機構を構築する予定である。

## 5. ITER遠隔実験センター (REC)

ITER遠隔実験センター (REC) に関する活動は、BA活動期間の最後の2年間に本格的に実施される事が予定されている。RECにおけるサブプロジェクトの目的は、ITERへの実験参加に先立ってBAサテライトトカマクJT-60SA等を対象としてRECが持つ機能の完備性を実証すること、及びITERの運転の準備として用いられる核燃焼トカマクシミュレーターを開発することにある。また、RECにおいて実施予定の活動内容は、

- 実験データや放電条件を転送するための高速ネットワークの接続。
- 通信サーバ、プラント監視システム、プラズマ放電条件パラメータ設定システムを、ITER CODACの設計との密接な連結により構築すること。
- 核燃焼トカマクシミュレーターを完成させるための解析用計算機システムの構築。
- 実験とシミュレーションを結合するためのインターフェイス機能の構築。
- 最新の先進的なTV会議システムの構築。
- データ蓄積装置の構築

等である。

遠隔実験センターの技術開発は、ITER CODACの仕様と密接に関連付けることを考慮して行われるものと考えられる。また、BA期間中にはサテライトトカマクJT-60SAを用いて開発したシステムの機能試験が実施される事としている。

大型トカマク装置における遠隔実験は、2007年12月にドイツのマックスプランク・プラズマ物理研究所からのJT-60Uへの遠隔実験に成功した[7]。遠隔実験においては、制御シ

ステムへの不正侵入を防止し、大型装置を保護し安全な運転を担保するための高いセキュリティを確保することが重要である。JT-60Uでは、外部からのアクセス制限、電子化された個人認証や通信データの暗号化、さらに装置の安全性検査など多重のセキュリティを保ちつつ遠隔地から実験を行えるシステムを開発した。このシステムを用いて、遠隔地の研究者が現地研究者とほぼ同等な環境で、装置の安全を保ちながら実験を実施できることを実証している。この基盤技術の応用によって、ITER遠隔実験センターが構築できると考えられている。

## 6. 終わりに

原型炉設計・研究開発調整センター(DEMO Design and R&D Coordination Centre)、核融合計算シミュレーションセンター(CSC)、及びITER遠隔実験センター(REC)が推進する3サブプロジェクトから構成されるIFERC事業の活動は、2011年までの主として準備的段階から、2012年以降は実施的な研究活動段階へと展開して行く。この間の研究活動の進展は将来の原型炉設計活動へと統合されて行くであろう。日本の核融合研究を取り巻く状況を考えるならば、2012年以降の研究活動の展開が、BA活動後の日本の核融合研究の展開に対して極めて重要な意味を持つと考えられる。日本の核融合研究関係者の一人一人がBA活動に興味を抱き、その実状を理解し、積極的な関与を考えて頂けるならば、日本の核融合研究に取って新たな展開が期待できると考えられる。

## 参考文献

- [1] 荒木政則、鎌田裕、森雅弘、西谷健夫、  
“核融合開発の現状と展望 核融合エネルギーの実現に向けて”, 電気評論, 2007年10月, pp.38-44.
- [2] 荒木政則、他、小特集「幅広いアプロー

- チ計画の概観と展望、4.国際核融合エネルギー研究センター事業」、プラズマ・核融合学会、第86巻第4号、2010年4月、pp.231-239.
- [3] 西谷健夫, 幅広いアプローチ (BA) における原型炉工学R&Dのこれまでの成果と今後の計画, 第27回プラズマ核融合学会年会, 2010年11月30日-12月3日, 北大, 30aA01.
- [4] 荒木政則他, 小特集 幅広いアプローチ計画の概観と展望, 4. 国際核融合エネルギー研究センター事業, J.Plasma Fusion Res. 86 (2010) .
- [5] K. Hayashi et al., Progress in DEMO R&D activities within the BA-IFERC Project, 第8回核融合エネルギー連合講演会, 2010年6月10-11日, 高山, 11B-38p.
- [6] T. Nishitani, et al., Fusion materials development program in the broader approach activities, J. Nucl. Mater. 386-388 (2009) 405-410.
- [7] Ozeki, et al. "Development and Demonstration of Remote Experiment System with High Security in JT-60U", 22th IAEA Fusion Energy Conf., Geneva (2008) FT/P2-22